

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2003-104025**

(43)Date of publication of application : **09.04.2003**

(51)Int.Cl.

B60G 17/015

B60G 17/00

B62K 25/08

F16F 15/03

(21)Application number : 2001-301168

(71)Applicant : TOKICO LTD

(22)Date of filing : 28.09.2001

(72)Inventor : **AKAMI YUSUKE**
UCHIUMI NORIYUKI
CHIKUMA HIROSHI

(54) ELECTROMAGNETIC SUSPENSION DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electromagnetic suspension device capable of suppressing power consumption.

SOLUTION: A function of a function correction processing part 80 is corrected by suspension speed and displacement based on a detection signal of a position sensor, and thereby control force (propulsive force or damping force) of a suspension unit 2 is adjusted.

Control force can be generated with high accuracy and

in a wide range, as compared with a conventional

technique in which a control force stroke speed characteristic is uniform because an adjustment in a

control force generating region can be performed according to suspension speed and displacement.

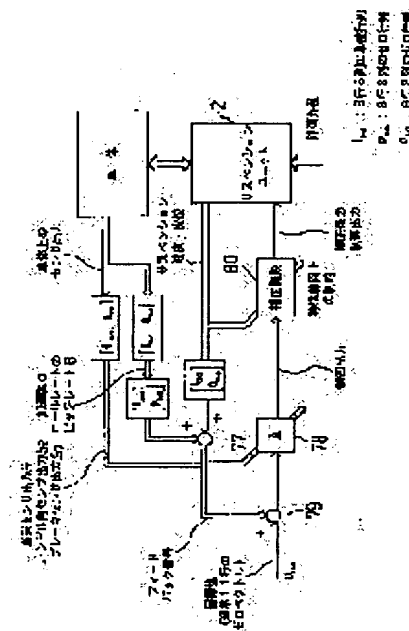
Further, the range of a regeneration region can be widened since control force can be generated according

to a traveling state and thereby reduction of power

consumption can be easily executed. Power

consumption of the whole of the vehicle can be easily

suppressed to below a fixed value to prevent a battery exhaustion and heating of a power cable.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

Best Available Copy

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 車両の車体側と車輪側の一方側に磁石部材を設け、他方側にコイル部材を設け、前記コイル部材への通電駆動により前記磁石部材との間に生じる電磁力によって推進力を得、前記コイル部材と前記磁石部材との相対的変位により生じる起電力によって減衰力を得るサスペンションユニットと、前記車両の走行状態により前記サスペンションユニットへの通電を制御する制御手段とからなる電磁サスペンション装置において、前記車両の車速を検出する車速検出手段と、該車速検出手段により検出された車速が所定値以上のとき、所定値未満のときより消費電力が少なくなるように前記制御量を補正する補正手段とを備えたことを特徴とする電磁サスペンション装置。

【請求項 2】 車両の姿勢変化を検出する姿勢状態検出手段を設け、車体の姿勢の変化が所定以上となる場合に、前記補正手段による補正を小さくする、または、中止することを特徴とする請求項 1 記載の電磁サスペンション装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、電磁力による振動抑制用アクチュエータ、ダンパに係り、特に、自動車、二輪車などに用いて好適な電磁サスペンション装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の電磁サスペンション装置の一例として、油圧ダンパのオリフィス等の減衰力発生機構に代えて、回転型モータ及びこの回転型モータのロータの回転動を直線動に変換する直動一回転動変換機構を用いたり、あるいは直動型モータを用いた電磁サスペンション装置がある。この電磁サスペンション装置は、通電することにより可動部を変位させ、モータを本来のモータ（アクチュエータ）としてアクティブに動作させる一方、モータを発電機として使用することにより（パッシブに）減衰力を発生させるようにしている。

【0003】 前記モータを発電機として使用する場合、モータ（発電機）に発生する抵抗力、すなわち減衰力は、コイルに流れる電流の大きさに比例するので、減衰力を可変とするためには、コイルに流れる電流の大きさを調整すればよい。コイルに流れる電流を調整するには、回路内に可変抵抗を設けたり、回路をオン、オフ（ON/OFF）するスイッチを設け、スイッチのオン、オフ時間比を制御することなどで容易に実現できる。

【0004】 そのため、電磁サスペンション装置の減衰力をストローク速度やストローク位置に応じて可変制御したり、制御対象の振動を抑制するようにリアルタイムに可変制御する、いわゆるセミアクティブダンパとして構成することは比較的容易である。また、このようにセ

ミアクティブダンパとして構成する（発電機として使用する）場合、電磁サスペンション装置に電気エネルギーを与える必要はなく、消費電力を非常に低く抑えることができる。

【0005】 また、電磁サスペンション装置に電気エネルギーを与えてモータとして使用すれば、容易に任意の力を発生させることができるため、力を加えて減衰力を大きくしたり、任意の推進力を発生させてアクティブサスペンションとして動作させ、振動抑制効果を高めることが可能であり、このようにして振動抑制効果を高める方法も提案されている。前記電磁サスペンション装置でモータとしては直流モータや同期モータが用いられている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、前記電磁サスペンション装置のモータとして用いられる直流モータや同期モータは、その推力がコイルに流れる電流の大きさに決まる。このため、制御効果を高めるために大きな推力を発生しようとする場合、コイルに流す電流を大きくしなければならず、ひいては消費電力の増加を招くことになる。また、コイルに流れる電流が大きくなるとコイルの電気抵抗によるコイル発熱が大きくなる。一方、前記電磁サスペンション装置では、減衰力及び推進力（制御力）を発生する場合、予め定めた特性によって制御するが、この特性は例えば走行状態に対応して一律のものとしてされている。このため、前記消費電力の低減化を容易には行えないというのが実情である。

【0007】 本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、消費電力の抑制を図ることができる電磁サスペンション装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】 請求項 1 記載の発明は、車両の車体側と車輪側の一方側に磁石部材を設け、他方側にコイル部材を設け、前記コイル部材への通電駆動により前記磁石部材との間に生じる電磁力によって推進力を得、前記コイル部材と前記磁石部材との相対的変位により生じる起電力によって減衰力を得るサスペンションユニットと、前記車両の走行状態により前記サスペンションユニットへの通電を制御する制御手段とからなる電磁サスペンション装置において、前記車両の車速を検出する車速検出手段と、該車速検出手段により検出された車速が所定値以上のとき、所定値未満のときより消費電力が少なくなるように前記制御量を補正する補正手段とを備えたことを特徴とする。また、請求項 2 の発明は、車両の姿勢変化を検出する姿勢状態検出手段を設け、車体の姿勢の変化が所定以上となる場合に、前記補正手段による補正を小さくする、または、中止することを特徴とする。

【0009】

【発明の実施の形態】 本発明の一実施の形態に係る電磁

サスペンション装置を図1～図16に基づいて説明する。

【0010】図1及び図2において、電磁サスペンション装置1は自動車に用いられるものであり、各車輪側部材と車体との間に介装される4本のサスペンションユニットを有している。右前輪側部材、左前輪側部材、右後輪側部材及び左後輪側部材にそれぞれ対応するサスペンションユニットを、右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側サスペンションユニット2FR, 2FL, 2RR, 2RLという。右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側サスペンションユニット2FR, 2FL, 2RR, 2RLには、それぞれ3相同期形のモータ（それぞれ、右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側モータ3FR, 3FL, 3RR, 3RLという。）が備えられている。右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側サスペンションユニット2FR, 2FL, 2RR, 2RLは同等構成を成しており、以下、適宜サスペンションユニット2と総称する。また、右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側モータ3FR, 3FL, 3RR, 3RLについても同様に、適宜モータ3と総称する。

【0011】右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側モータ3FR, 3FL, 3RR, 3RLにはそれぞれドライバ（それぞれ、右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側ドライバ4FR, 4FL, 4RR, 4RLという。）が接続されており、モータ3を駆動するようにしている。右前輪側、左前輪側、右後輪側及び左後輪側ドライバ4FR, 4FL, 4RR, 4RLは同等構成を成しており、以下、適宜ドライバ4と総称する。ドライバ4は、各車輪に対応するサスペンションタワー部に設けられている。ドライバ4にはDC36Vのモータ用電源5が接続されている。

【0012】ドライバ4には、シリアル通信バス6を介して制御装置7（制御力発生領域調整手段）が接続されており、制御装置7からドライバ4への動作指令や、ドライバ4から制御装置7への各種フィードバックなどは全てシリアル通信【例えばCAN（Controller Area Network）仕様に準拠したシリアル通信】によって行われるようにしている。シリアル通信のプロトコルは、制御装置7からの「コマンド」とドライバ4からの「レスポンス」がセットになったもので、一定間隔（例えば5ms）【制御装置7の制御周期】毎に常に「コマンド」と「レスポンス」が授受される。

【0013】また、例えば制御装置7からドライバ4への「コマンド」が一定時間（例えば20ms）以上送信されない、あるいはドライバ4から制御装置7への「レスポンス」が一定時間（例えば20ms）以上送信されない、といった場合は、制御装置7又はドライバ4はシステム異常と判断し、「モータ用電源5の切断」、「エラー表示」などの異常処理を行う。シリアル通信バス6には、ABS（Anti-lock Break System）制御装置8及

びVDC（Vehicle Dynamics Control）制御装置9が接続されている。ABS制御装置8及びVDC制御装置9は、車両の走行安定性を確保するようにしたものである。本電磁サスペンション装置1、ABS制御装置8及びVDC制御装置9は協調して動作することができるようになっている。

【0014】制御装置7は、モータ3への通電ひいてはサスペンションユニット2による推進力発生制御を行うと共に、モータ3の起電力発生（発電機としての使用）による減衰力発生制御を行うようにしている。制御装置7には、車体の上下振動を検出する3個の上下加速度センサ（以下、第1、第2、第3上下加速度センサという。）10, 11, 12、ロールレートセンサ75、ピッチレートセンサ76、車輪速センサ13、ハンドル角センサ14、ブレーキセンサ15及びDC12Vの電源（以下、12V電源という。）16が接続されている。制御装置7には更に、システム診断などに用いる外部通信機器17が接続されている。第1上下加速度センサ10は右前輪のサスペンションタワー部に設けられ、第2上下加速度センサ11は左前輪のサスペンションタワー部に設けられ、第3上下加速度センサ12は後部トランク部に設けられている。

【0015】サスペンションユニット2は、図2に示すように、車両の車体側に保持される外筒部材20（一对の長手状部材のうち一方）と、外筒部材20に相対変位可能に一端側が挿嵌され他端側が車両の車軸側に保持されるロッド21（一对の長手状部材のうち他方）とを備えている。外筒部材20とロッド21との間になるようにして、外筒部材20の内側には複数のコイル22（コイル部材）が軸方向に所定長さにわたって設けられ、ロッド21の外側には永久磁石（磁石部材）23が軸方向に所定長さにわたって設けられている。

【0016】コイル22とロッド21（永久磁石23）との間になるようにして、コイル22の内側に筒状の案内部材（以下、第1案内部材という。）24が設けられ、ロッド21の一端部には第1案内部材24に摺動する摺動部（以下、第1摺動部という。）25が設けられている。外筒部材20の開口端には環状の案内部材（以下、第2案内部材という。）26が装着されている。第2案内部材26の内側には、ロッド21に摺動してその動きを案内する摺動部（以下、第2摺動部という。）27が設けられている。ロッド21は、第1摺動部25及び第2摺動部27によって外筒部材20に対して摺動可能に支持されている。

【0017】前記コイル22は、U相、V相、W相が軸方向に交互に並んだ構成になっている。永久磁石23は、N極、S極が軸方向に交互に並んだ構成になっている。コイル22に通電するとコイル22と永久磁石23との間に軸方向の推力が発生し外筒部材20とロッド21は相対変位（ストローク）する。推力の向きはコイル

22の通電方向に基づいて定まる。本実施の形態では、コイル22、永久磁石23及びコイル22、永久磁石23を支持する部材などから前記モータ3が構成されている。また、外筒部材20及びロッド21ひいてはコイル22及び永久磁石23が相対変位すると、コイル22には起電力が生じ、モータ3は発電機的作用をなすようになっている。サスペンションユニット2のモータ3には位置センサ（車両動作状態検出手段）30〔図4参照〕が設けられており、コイル22及び永久磁石23ひいては外筒部材20とロッド21の相対変位（ストローク）を検出すると共に、外筒部材20とロッド21の相対速度（サスペンションユニット2のストローク速度）を得られるようになっている。

【0018】制御装置7は、図3に示すように、本電磁サスペンション装置1の制御プログラムや定数などの固定的なデータを記憶するROM31と、前記制御プログラムを実行し、本電磁サスペンション装置1全体の制御を司るCPU32と、CPU32の演算結果等を一時的に記憶するRAM33と、サンプリング時間等を生成するタイマ34とを備えている。制御装置7は、さらに、第1、第2、第3上下加速度センサ10、11、12からのアナログ信号をA/D変換するA/D変換器35と、車輪速センサ13、ハンドル角センサ14及びブレーキセンサ15からの信号を処理するセンサi/oインタフェース（センサi/o i/f）36と、ドライバ4などとのシリアル通信用のCANインターフェース37と、12V電源16をCPU32などが必要とする5V、3.3Vなどの電圧に変換するDC/DC電源ユニット38と、外部通信機器17に対して信号を授受する外部通信機器インターフェース39とを備えている。

【0019】本電磁サスペンション装置1では、車両の挙動状態のうち車体の上下振動については上述したように第1、第2、第3上下加速度センサ10、11、12が検出する。車体のロール、ピッチング量については、ロールレートセンサ75、ピッチレートセンサ76によって検出する。サスペンションユニット2の速度及び変位については位置センサ30の検出信号に基づいて把握できるようにしている。さらに、車両の走行状態（車速）は車輪速センサ13が検出する。また、車両の挙動状態の検出は、第1、第2、第3上下加速度センサ10、11、12、ロールレートセンサ75、ピッチレートセンサ76及び位置センサ30に限らず、車輪速センサ13、ハンドル角センサ14、ブレーキセンサ15によっても行うようにしている。

【0020】制御装置7は、第1、第2、第3上下加速度センサ10、11、12、位置センサ30、車輪速センサ13、ハンドル角センサ14、ブレーキセンサ15からの信号に基づいて、車両の振動、姿勢の変化や不安定な車両挙動を抑制するように、また、車速や運転者のハンドル、アクセル、ブレーキ操作に対して車両がより

安定するように各輪のサスペンションユニット2の制御量を決定し、ドライバ4に対してモータ3の駆動信号を送るようにしている。

【0021】ドライバ4は、図4に示すように、モータ駆動用制御プログラムや定数などの固定的なデータを記憶するROM（以下、ドライバROMという。）40と、前記モータ駆動用制御プログラムを実行し、制御装置7との通信制御を行うと共にドライバ4の制御を司るCPU（以下、ドライバCPUという。）41〔消費電力検出手段〕と、ドライバCPU41の演算結果等を一時的に記憶するRAM（以下、ドライバRAMという。）42と、車両及び運転者などに固有とされ、書き換え可能なパラメータ等を記憶するFLASHメモリ43と、サンプリング時間等を生成するタイマ（以下、ドライバタイマという。）44とを備えている。

【0022】ドライバ4は、さらに、モータ3駆動用のPWM信号生成器45と、電気的絶縁を行うフォトカプラ46と、モータ用電源5（DC36V）にDCバス47を介して接続され、モータ用電源5からの電流をモータ3の駆動に使用するように3相電流に変換しこの電流をモータ接続線48を介してモータ3に出力するIGBT49と、IGBT49のゲートを駆動するゲートドライバ50と、前記モータ接続線48に設けられモータ3の駆動電流を検出する電流検出器51と、モータ3の駆動電圧を検出する電圧検出器52と、モータ接続線48の出力側に設けられるラインフィルタ53と、電流検出器51及び電圧検出器52からのアナログ信号をA/D変換するA/D変換器（以下、ドライバA/D変換器という。）54と、前記位置センサ30からの信号をデジタル信号に変換してドライバCPU41に入力する位置センサインターフェース（位置センサi/f）55とを備えている。

【0023】ドライバ4には、さらに、DCバス47の電圧を監視する過電圧検出器56と、IGBT49の過熱を検出する過熱検出器57と、制御装置7とのシリアル通信インターフェースであるCANi/f（以下、ドライバCANインターフェースという。）58と、モータ用電源5をドライバCPU41など他の部材の動作に必要な5V、12Vなどの電圧に変換するDC/DC電源ユニット（以下、ドライバDC/DC電源ユニットという。）59とが備えられている。

【0024】ドライバ4は、シリアル通信バス6を介し、制御装置7から「サーボON」などの制御コマンド及び実際にモータ3を駆動させる制御量等を受け取ると、サンプリング時間（ドライバ4の制御周期）毎に位置センサ30の信号からモータ3内のU相、V相、W相コイル22と永久磁石23の作る磁気回路との間の位相角（電気角）、モータ3の動作速度、電流検出器51、電圧検出器52の信号からコイル22の電流値、電圧値を取得し、制御装置7からのモータ駆動指令通りのモータ

タ動作となるようにPWM信号生成器45を調節する。前記ドライバ4の制御周期は、制御装置7の制御周期（例えば5ms）よりも十分早く、例えば250μsに設定されている。

【0025】この電磁サスペンション装置1では、車体の上下振動に伴いロッド21及び外筒部材20が相対的に変位すれば、コイル22には起電力が発生する。すなわち、モータ3は発電機として作用し、コイル22に電流が流れるようにIGBT49のスイッチングを調節することにより、サスペンションユニット2（モータ3）はロッド21及び外筒部材20の相対速度に応じた抵抗力、すなわち減衰力を発生することになる。また、ロッド21と外筒部材20との相対的な位置関係（電気角）、ひいては車体の上下振動状態に応じて、コイル22に電流を流せば、モータ3は本来のモータ（アクチュエータ）として作用し、サスペンションユニット2は振動抑制効果を向上できるようにしている。

【0026】本実施の形態では、位置センサ30（車両動作状態検出手段）の検出結果に応じてサスペンションユニット2の制御力ストローク速度特性の補正（調整）、ひいては制御力（推進力又は減衰力）の発生領域を補正（調整）するようにしている。前記車両動作状態検出手段としては位置センサ30に限らず第1、第2、第3上下加速度センサ10、11、12、ロールレートセンサ75、ピッチレートセンサ76、車輪速センサ13、ハンドル角センサ14、ブレーキセンサ15を用いるようにしてもよい。前記制御力ストローク速度特性の補正を含む制御装置7の制御について、(i) 制御装置の制御内容、(ii) ゲイン行列補正方法、(iii) 制御力ストローク速度特性の補正〔制御力ストローク速度特性線図上でのモータ制御力の制限処理〕に項分けして以下に説明する。なお、制御装置7の制御内容などを説明するために用いる信号及びその記号を表形式で図5に示す。

【0027】(i) 制御装置の制御内容

制御装置7の機能について図6の制御ブロック図で模式的に示す。制御装置7は、図6に示すように、車体などに設けられた第1、第2、第3上下加速度センサ10、11、12、ロールレートセンサ75、ピッチレートセンサ76、車輪速センサ13、ハンドル角センサ14、及びブレーキセンサ15の各出力信号のうち、図8の行ベクトル(2)で示される上下加速度、ロールレート及びピッチレートを、信号合せ部77に入力し、図8の行ベクトル(3)で示される車輪速センサ出力、ハンドル角センサ出力、ブレーキセンサ出力を、増幅部78に送りゲインの補正などに用いるようにしている。また、位置センサ30の出力信号により得られるサスペンション（サスペンションユニット）速度信号、変位信号を信号合せ部77に入力し、前記上下加速度、ロールレート及びピッチレートと共にフィードバック信号としてフィー

ドバック信号処理部79に入力すると共に、関数補正処理部80に入力し、制御力発生領域の調整（補正）を行うようにしている。フィードバック信号処理部79は目標値とフィードバック信号との差分信号を求め、この差分信号を増幅部78を介して関数補正処理部80に入力する。関数補正処理部80は、増幅部78を介して送られた信号を補正関数に基づいて処理してモータ3に対する制御信号を得、この制御信号に基づいてモータ3を制御する。前記第1、第2、第3上下加速度センサ10、11、12、ロールレートセンサ75、ピッチレートセンサ76、車輪速センサ13、ハンドル角センサ14、及びブレーキセンサ15の各出力信号は、行ベクトルを用いて表すと図7の式(1)に示すようになる。

【0028】前記サスペンション速度信号、変位信号は、各輪のサスペンションユニット2の変位、速度であり、行ベクトルで示すと図9の式(4)のようになる。信号合せ部77で加え合わせにより得られ増幅部78に送られる信号〔式(2)及び式(4)を合せた信号〕について行ベクトルで示すと図10の式(5)のようになる。

【0029】制御系の目標値は、車両の振動や姿勢変化を例えばゼロとするようにすると、11行のゼロベクトルとなり、制御出力が図11の式(6)であるとすると、制御則は図12の式(7)に示すようになる。

【0030】(ii) ゲイン行列補正方法

式(7)中、kは4行11列のゲイン行列であり、車両の緒元から決定される定数行列である。ゲイン行列は、上述した増幅部78で車輪速センサ出力、ハンドル角センサ出力、ブレーキセンサ出力信号〔式(3)〕により補正されるが、このゲイン行列補正処理について、図13に基づいて説明する。

【0031】まず、車速検出手段としての車輪速センサ13の出力信号（車輪速）、姿勢状態検出手段としてのハンドル角センサ14の出力信号（ハンドル角）及び姿勢状態検出手段としてのブレーキセンサ15の出力信号（ブレーキ量）を取り込む（ステップS1）。次に、ステップS1で取り込んだ車輪速が既定値よりも大きいのか否かを判定する（ステップS2）。ステップS2でYes（車輪速が既定値よりも大きい）と判定すると、サスペンションユニット2のストローク速度、変位に関するゲインを車輪速及び既定値の差分〔（車輪速）－（既定値）〕に応じて低下させる（ステップS3）。これは、車速が高い高速道路などを走行した場合（ただし直線走行時）は、路面状況が良いので、サスペンションストロークは短く、振動は高周波域にシフトする。このような場合、サスペンションが発生しなければならない力（減衰力）は小さくても良いので、制御力のゲインを低下させても乗り心地について問題はなく、消費電力も少なくなり、かえって、積極的に電力回生できる領域になる。

【0032】次に、ステップS1で取り込んだハンドル

角が既定値よりも大きいかな否かを判定する(ステップS4)。ステップS4でYes(ハンドル角が既定値よりも大きい)と判定すると、ロールと左右のサスペンションユニット2の変位に関するゲインをハンドル角及び既定値の差分〔(ハンドル角) - (既定値)〕に応じて増加させる(ステップS5)。これは、高速でハンドルを動かし姿勢変化が生じるような場合は、減衰力を小さくしすぎると姿勢変化を生じ操縦安定性が損なわれる。そこで、高速であっても姿勢変化を生じるような場合は、ゲインを低化させる量を減らすか、または、ゲイン低化を中止することにより、充分な減衰効果を得て、操縦安定性を高める。

【0033】次に、ステップS1で取り込んだブレーキ量が既定値よりも大きいかな否かを判定する(ステップS6)。ステップS6でYes(ブレーキ量が既定値よりも大きい)と判定すると、ピッチングと前後のサスペンションユニット2変位に関するゲインをブレーキ量及び既定値の差分〔(ブレーキ量) - (既定値)〕に応じて増加させる(ステップS7)。これも上記と同様で、高速でブレーキを踏み、姿勢変化が生じるような場合は、減衰力を小さくしすぎると姿勢変化を生じ操縦安定性が損なわれる。そこで、高速であっても姿勢変化を生じるような場合は、ゲインを低化させる量を減らすか、または、ゲイン低化を中止することにより、充分な減衰効果を得て、操縦安定性を高める。

【0034】図6の処理を行うことにより上下方向の制御のみならず、車輪速、ロール、ピッチングに対する制御を行えるようにしていると共に、図13のゲイン行列補正処理を行うことにより、車輪速、ロール、ピッチングに対する制御が良好なものになるようにしている。前記増幅部78からの信号が関数補正処理部80に入力され、前記増幅部78からの信号に応じた制御出力がモータ3の駆動部に入力されて所望の制御力を発生する。そして、増幅部78からの信号が車輪速、ロール、ピッチング(走行状態、挙動状態)に応じて上述したように補正処理(図13ゲイン行列補正処理)されることにより、前記制御力も補正される、すなわちサスペンションユニット2が得る制御力(推進力又は減衰力)が調整(補正)されることになる。また、関数補正処理部80は上述したように、位置センサ30の検出信号に基づくサスペンション速度、変位により関数が補正され、これによりサスペンションユニット2の制御力(推進力又は減衰力)発生領域が調整(補正)されることになる。上記サスペンションユニット2の制御力の調整(補正)処理について説明する。

【0035】(iii) 制御力-ストローク速度特性の補正

〔制御力-ストローク速度特性線図上でのモータ3制御力の制限処理〕まず、サスペンションユニット2の制御力-ストローク速度特性について、図14に基づいて説

明する。サスペンションユニット2(モータ3)の制御力 u 及びストローク速度 v の対応関係は、ストローク速度を横軸にとり、制御力を縦軸にとると、図14に示ようになる。図14の第1、第3象限がサスペンションユニット2(モータ3)が本来のモータ(アクチュエータ)として動作する領域であり、第2、第4象限が粘性減衰を生じるダンパ領域である。第2、第4象限(ダンパ領域)の一部ではサスペンションユニット2(モータ3)が発電機として動作し、車体の振動エネルギーが回生可能な領域となり、その他では、電力を供給し減衰力を増加させている。

【0036】サスペンションユニット2(モータ3)が発生する制御力の最大の値(最大制御力) u_{max} は、モータ3に供給可能な最大電流値で決定される。また、回生可能な領域は、第2、第4象限を通る直線(図15参照。以下、回生領域決定直線という。)[ここでは、 $u = -c_2 v$ とする。]により定まる。そして、回生領域は回生領域決定直線の傾き係数 c_2 で決定される。この傾き係数 c_2 はモータ3固有の値である逆起電圧定数(単位: $V/m/s$)で決定される。図15において、第2、第4象限のうち、モータが単に発電機として動作し回生できる領域は縦線ハッチング域であり、斜め線ハッチング域はコイルに回生電流がより流れるようにドライバ側で電流を付勢し、減衰力を高めた領域である。縦線ハッチング域内であれば、付加エネルギーゼロで減衰力を調整可能である。

【0037】また、第1、第3象限におけるモータ3の動作領域は、第1、第3象限を通る直線(図15参照。以下、モータ3領域動作範囲決定直線という。)[ここでは、 $u = -c_3 v$ とする。]により定まる。そして、モータ3領域動作範囲はモータ3領域動作範囲決定直線の傾き係数 c_3 で決定される。この傾き係数 c_3 はモータ3固有の値である逆起電圧定数(単位: $V/m/s$)で決定される。

【0038】モータ3が発生する制御力の補正(制限)についてはサスペンションユニットの制御力発生領域の補正(制限)を行うには、下記の(イ)、(ロ)、(ハ)を行うことで対処できる。

(イ) 最大制御力 u_{max} を引き下げる。

(ロ) ダンパ領域(第2、第4象限)での動作領域を制限する。

(ハ) モータ領域(第1、第3象限)での動作領域を制限する。

すなわち、図15において、サスペンションとして仕事をする動作範囲であるハッチングされた領域全てを狭めることである。

【0039】前記(イ)、(ロ)、(ハ)の対処方法は以下のようにして実現可能である。(イ)の場合(最大制御力 u_{max} を引き下げる。)は、電流値に対するリミッタの調整値を低くして、モータ3に供給する最大電流

値を下げることで実現可能である。つまり、図 15 のうち、最大制御力 u_{max} (最大制御力 $-u_{max}$) に対応する線分 (イ 1) を原点方向に引き寄せることにより実現される。

【0040】前記最大制御力 $-u_{max}$ のマイナス符号はサスペンションユニット 2 の伸びに対する抑える方向の制御力 (いわば伸びハードとする力) を示す。また、最大制御力 u_{max} の + (マイナス符号がないこと) はサスペンションユニット 2 の縮みに対する伸び方向の制御力 (いわば縮みハードとする力) を示す。

【0041】線分 (イ 1) の原点方向への引き寄せなどの調整は、

制御力 u が正の値の場合、

$$u = u_1 \quad (v \leq 0, \text{第 2 象限})$$

$$u = u_1 - c \cdot v \quad (v > 0, \text{第 1 象限})$$

制御力 u が負の値の場合、

$$u = -u_1 \quad (v \leq 0, \text{第 4 象限})$$

$$u = -u_1 - c \cdot v \quad (v > 0, \text{第 3 象限})$$

ただし、 u_1 : リミッタ後の電流

c : モータ 3 の粘性減衰係数

v : ストローク速度

で表されるから、電流値 u_1 は IGBT 49 のスイッチングを調整することでモータ制御力の調整ひいてはサスペンションユニット 2 の減衰力発生領域の調整が可能である。

【0042】(ロ) の場合 [ダンパ領域 (第 2、第 4 象限) での動作領域を制限する。] は、制御力 u が、

$$u = -c_2 v$$

ただし、 c_2 : ダンパ領域の最大減衰係数

で表されるから、 c_2 (ダンパ領域の最大減衰係数)

〔傾き〕を調整 (変更) することでモータ制御力の調整ひいてはサスペンションユニット 2 の減衰力発生領域の調整が可能である。なお、 c_2 (モータ領域の最大減衰係数) は IGBT 49 のスイッチングを調整することにより調整できる。

【0043】(ハ) の場合 [モータ領域 (第 1、第 3 象限) での動作領域を制限する。] は、制御力 u が、

$$u = c_3 v$$

ただし、 c_3 : モータ領域の最大減衰係数

で表されるから、 c_3 (モータ領域の最大減衰係数)

〔傾き〕を調整 (変更) することでモータ制御力の調整が可能である。

【0044】図 15 に基づいて説明したモータ制御力の調整 (モータ 3 の駆動状態及び回生状態の調整)、すなわちモータ 3 の制御力 $-$ ストローク速度特性線図上でのモータ制御力の調整 (制限) ひいてはサスペンションユニット 2 の減衰力発生領域の調整は、関数補正処理部 80 が行うが、この関数補正処理部 80 (制御装置 7) による調整方法を、図 16 に基づいて説明する。

【0045】まず、位置センサ 30 の検出信号により得

られるサスペンションユニット 2 の変位、速度を読み込む (ステップ S11)。次に、制御力、変位などから制御モードを決定する (ステップ S12)。次に、前記ステップ S11 で読み込んだサスペンションユニット 2 の変位、速度に応じて最大制御力を抑制する [前記 (イ) の実行] か否かを判定する (ステップ S13)。ステップ S13 で Yes (最大制御力を抑制する) と判定した場合、 $u_1 < u_{max}$ となるように設定する (ステップ S14)。ステップ S13 で No (最大制御力を抑制しない) と判定した場合、 $u_1 = u_{max}$ となるように設定する (ステップ S15)。

【0046】ステップ S14 又はステップ S15 に続いて、前記ステップ S11 で読み込んだサスペンションユニット 2 の変位、速度に応じて電力回生が必要であるかを判定する (ステップ S16)。ステップ S16 で Yes (電力回生が必要である) と判定した場合、 $c_2 = c$ となるように設定する (ステップ S17)。ステップ S16 で No (電力回生が必要でない) と判定した場合、最大減衰係数が $c_2 > c$ となるように設定する (ステップ S18)。

【0047】ステップ S18 に続いて、アクティブ制御が必要であるかを判定する (ステップ S19)。ステップ S19 で Yes (アクティブ制御が必要である) と判定した場合、 $c_3 > 0$ の範囲でアクティブ領域を設定する (ステップ S20)。ステップ S19 で No (アクティブ制御が必要でない) と判定した場合、又はステップ S17 の処理が終了した場合、 $c_3 = 0$ とする (ステップ S21)。

【0048】ステップ S20 又は S21 に続いて、制御力が制限範囲を超えるかを判定する (ステップ S22)。ステップ S22 で Yes (制御力が制限範囲を超える) と判定すると、制御力が制限内に入るように変更して (ステップ S23)、当該サンプリング周期の処理を終了する。ステップ S22 で No (制御力が制限範囲を超えていない) と判定すると、前記ステップ S23 を飛ばして当該サンプリング周期の処理を終了する。

【0049】上述した実施の形態では、位置センサ 30 の検出信号に基づくサスペンション速度、変位 (走行状態、挙動状態) により関数が補正され、これによりサスペンションユニット 2 の制御力 (推進力又は減衰力) が調整 (補正) されることになる。このため、制御力発生領域の調整 (補正) をサスペンション速度、変位状態に応じて行えることから、例えば走行状態に対応して制御力 $-$ ストローク速度特性が一律のものとなっている従来技術に比して、制御力の発生を、精度高くかつ広範囲に果たすことができる。さらに、制御力の発生を走行状態に応じて発生できることから、回生領域の範囲を広げることが可能であり、これにより消費電力の低減を容易に実行できる。さらに、(1) 車両全体の消費電力を一定値以下に抑制することを容易に行え、(2) バッテリ

(モータ用電源)上がり、動力ケーブルの発熱を防止できる。

【0050】さらに、非常時以外の際にモータ3のコイル22の温度を一定値以下に抑制することができるため、以下の作用、効果を奏する。

(3) コイル22の膨張が抑制され、コイル22-永久磁石23間のギャップを小さくすることができ、モータ3の推力を向上できる。

(4) 永久磁石23の周囲温度の上昇を抑制できるため、永久磁石23の熱によって減磁する虞が少なくなる。

(5) モータ3(サスペンションユニット2)の発熱が抑えられるので、シール類、油脂類の耐久性を向上させることができる。

(6) モータ3(サスペンションユニット2)の熱膨張、収縮の程度が小さくなり、膨張、収縮の繰り返しによる疲労を抑制できるため、装置の耐久性が向上する。

【0051】本実施の形態では車輪速、ロール、ピッチング(走行状態、車両状態)に応じて上述したように補正処理(図13ゲイン行列補正処理)されることにより、前記制御力も補正される、すなわちサスペンションユニット2が得る制御力(推進力又は減衰力)が調整(補正)されることになる。

【0052】本実施の形態では、サスペンションユニット2が円筒形リニアモータ構造である場合を例にしたが、これに代えて、図17に示すサスペンションユニット2Aを用いてもよい。また、回転モータを用いたものであっても良い。図17に示すサスペンションユニット2Aは、外筒部材20Aと、外筒部材20Aに一端側が挿入され他端側が外筒部材20Aから突出する筒状のロッド21Aと、ロッド21Aの一端側に固定されたボールナット65と、ボールナット65に螺合し、ベアリング66を介して外筒部材20Aに回転可能に支持されたボールねじ67とを備えている。サスペンションユニット2Aは、さらに、ボールねじ67と同軸のシャフト68に固定された永久磁石23Aと、外筒部材20Aに固定されたコイル22Aと、コイル22A内に設けられた図示しないコア材とを備えている。外筒部材20Aの開口端には、環状の案内部材69が装着され、案内部材69の内側にはロッド21Aに摺動してこのロッド21Aを案内する摺動部70が設けられている。

【0053】このサスペンションユニット2Aでは、コイル22Aへの通電によりコイル22Aと永久磁石23Aとの間に電磁力を発生し、永久磁石23A(シャフト68)ひいてはボールねじ67が回転し、これによりボールナット65を介してロッド21Aが外筒部材20Aに対して軸方向に相対変位し、推進力を発生し、振動抑制効果を向上できるまた、車体の上下振動に伴いロッド21A及び外筒部材20Aが軸方向に相対的に変位すれば、軸方向の動きがボールナット65及びボールねじ6

7により回転運動に変換され、永久磁石23A(シャフト68)が回転しコイル22Aに起電力が発生し、ロッド21A及び外筒部材20Aの相対速度に応じた抵抗力、すなわち減衰力を発生することになる。なお、上記実施の形態では、高速時にゲインを補正しているが、これに限らず、高速では、制御を中止するようにしてもよい。

【0054】

【発明の効果】請求項1記載の発明によれば、車速検出手段により検出された車速が所定値以上のとき、所定値未満のときより消費電力が少なくなるように前記制御量を補正する補正手段とを備えたことにより、路面からの大きな入力のない高速走行中には、乗り心地等を殆ど犠牲にせずに制御量を減らし消費電力を下げることで、バッテリー(モータ用電源)上がり、動力ケーブルの発熱を防止できる。また、請求項2の発明によれば、高速であっても、車両の姿勢変化を所定以上となる場合には、制御量を請求項1のときと比べて増やすことにより、操縦安定性を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る電磁サスペンション装置を模式的に示す図である。

【図2】図1のサスペンションユニットを示す断面図である。

【図3】図1の制御装置を模式的に示すブロック図である。

【図4】図1のドライバを模式的に示すブロック図である。

【図5】図1の電磁サスペンション装置のサスペンション制御に用いる信号の一部とその記号を表形式で示す図である。

【図6】制御装置7の制御内容を模式的に示すブロック図である。

【図7】センサ出力である行ベクトル式(1)を示す図である。

【図8】センサ出力である行ベクトル式(2)、(3)を示す図である。

【図9】フィードバック信号である行ベクトル式(4)を示す図である。

【図10】フィードバック信号である行ベクトル式(5)を示す図である。

【図11】制御信号の行ベクトル式(6)を示す図である。

【図12】制御装置7の制御則を表す式(7)を示す図である。

【図13】ゲイン行列補正処理特性を示す図である。

【図14】制御力ストローク速度特性を示す図である。

【図15】制御力ストローク速度特性線図上での制御力の制限を示すための図である。

【図16】図15の処理内容を示すフローチャートである。

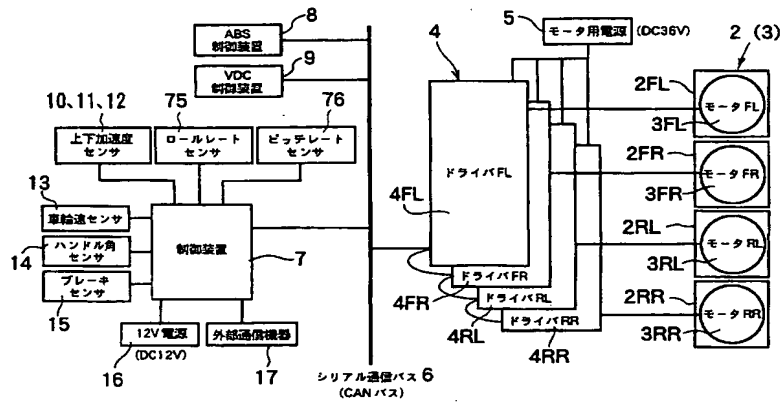
【図17】図2のサスペンションユニットに代る他のサスペンションユニットを示す断面図である。

【符号の説明】

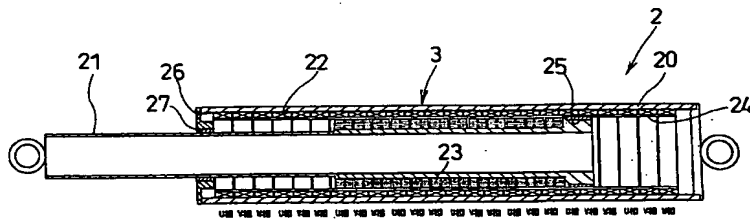
- 1 電磁サスペンション装置
2 サスペンションユニット

- 3 モータ
7 制御装置
13 車輪速センサ（車速検出手段）
14 ハンドル角センサ（姿勢状態検出手段）
15 ブレーキセンサ（姿勢状態検出手段）
22 コイル（コイル部材）
23 永久磁石（磁石部材）

【図1】



【図2】



【図9】

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ V_1 \\ X_2 \\ V_2 \\ X_3 \\ V_3 \\ X_4 \\ V_4 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (4)$$

【図10】

$$\begin{bmatrix} a \\ \phi \\ \theta \\ X_1 \\ V_1 \\ X_2 \\ V_2 \\ X_3 \\ V_3 \\ X_4 \\ V_4 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (5)$$

【図11】

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (6)$$

【図7】

$$\begin{bmatrix} a \\ \phi \\ \theta \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (1)$$

【図8】

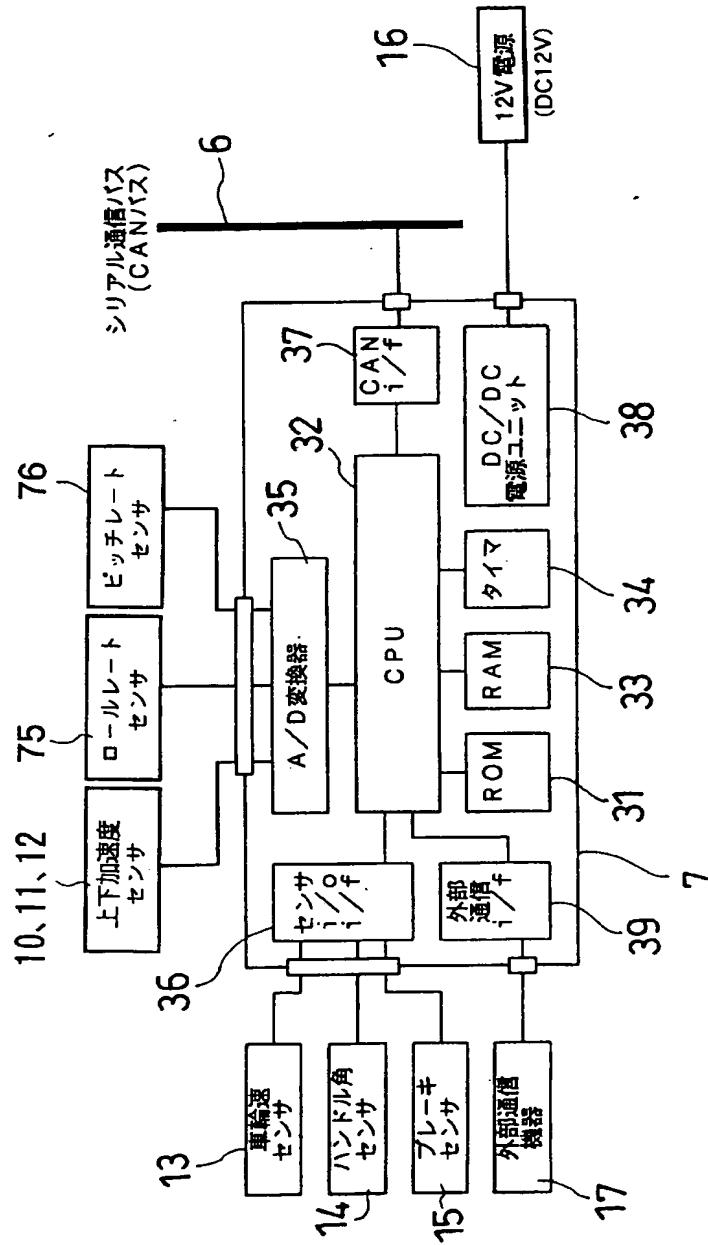
$$\begin{bmatrix} a \\ \phi \\ \theta \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2)$$

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3)$$

【図12】

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} - k \begin{bmatrix} a \\ \phi \\ \theta \\ X_1 \\ V_1 \\ X_2 \\ V_2 \\ X_3 \\ V_3 \\ X_4 \\ V_4 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (7)$$

【図3】

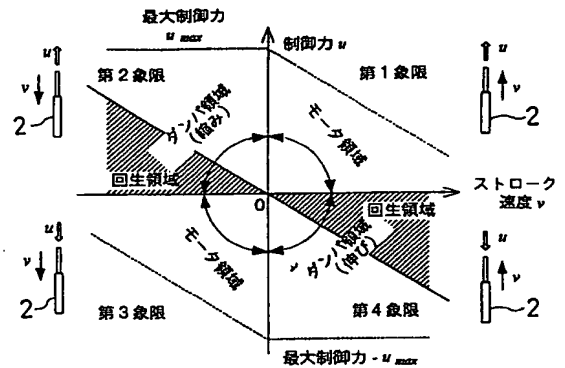


[illegible]

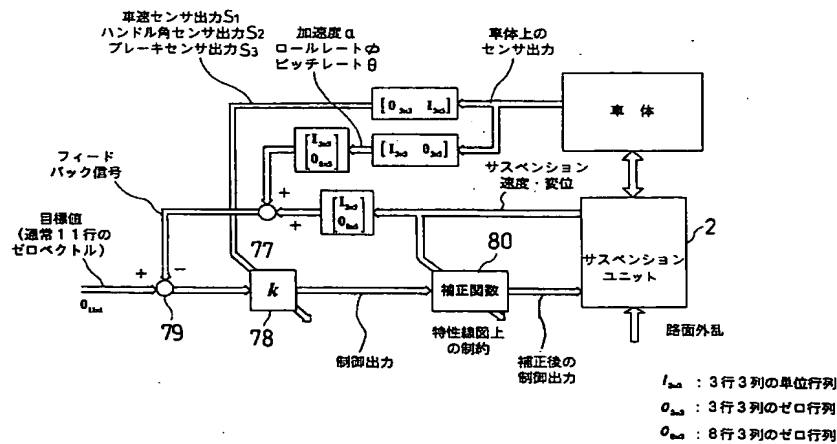
【図5】

	信 号	記号
1	上下加速度センサ10、11、12の出力	a
2	ロールレートセンサ75の出力	ϕ
3	ピッチレートセンサ76の出力	$\dot{\theta}$
4	モータ2FLの変位	X_1
5	モータ2FLの速度	V_1
6	モータ2FRの変位	X_2
7	モータ2FRの速度	V_2
8	モータ2RLの変位	X_3
9	モータ2RLの速度	V_3
10	モータ2RRの変位	X_4
11	モータ2RRの速度	V_4
12	車輪速センサ13の出力	S_1
13	ハンドル角センサ14の出力	S_2
14	ブレーキセンサ15の出力	S_3

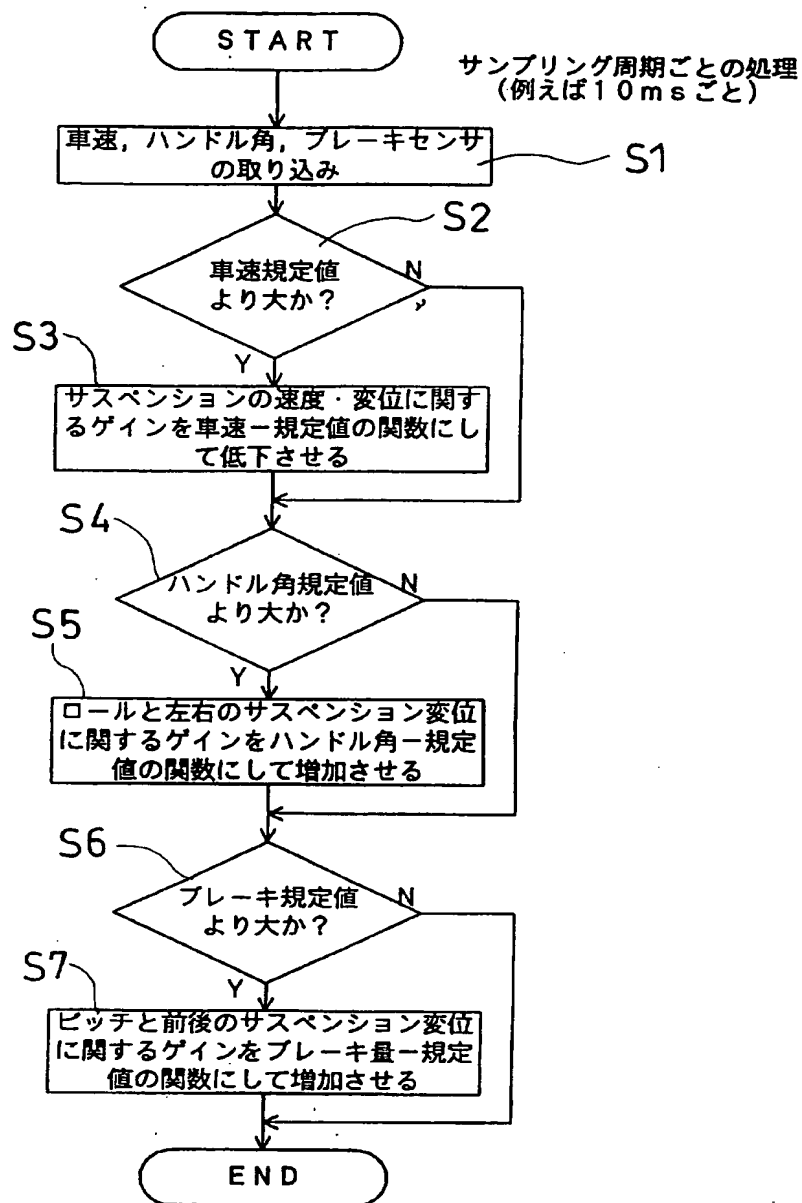
【図14】



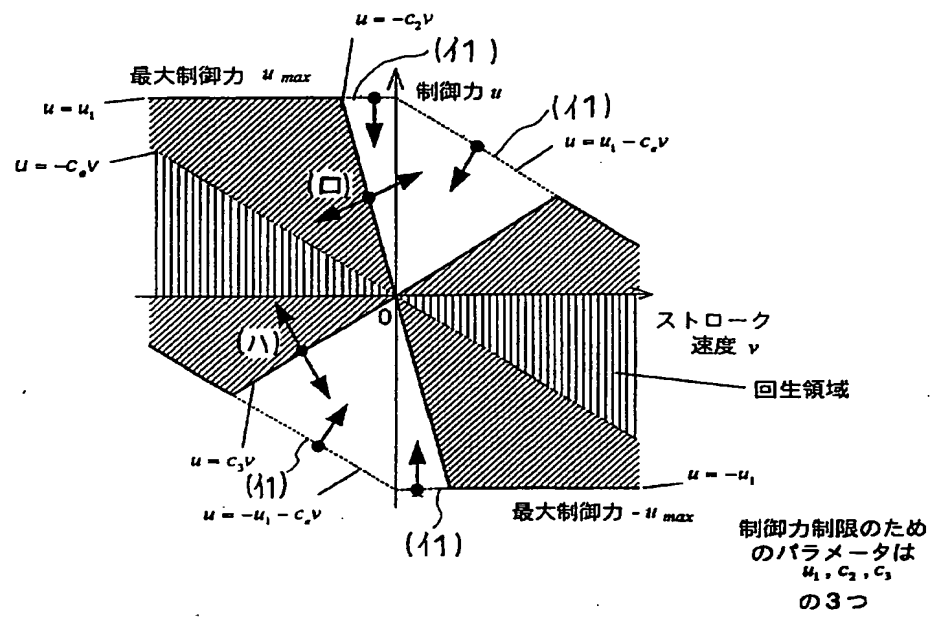
【図6】



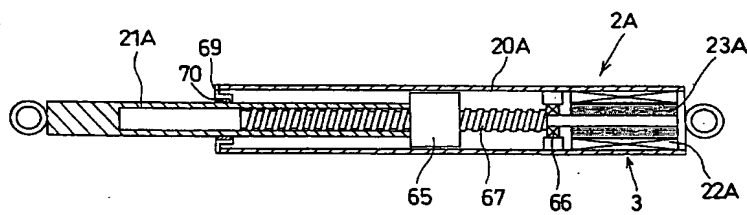
【図13】



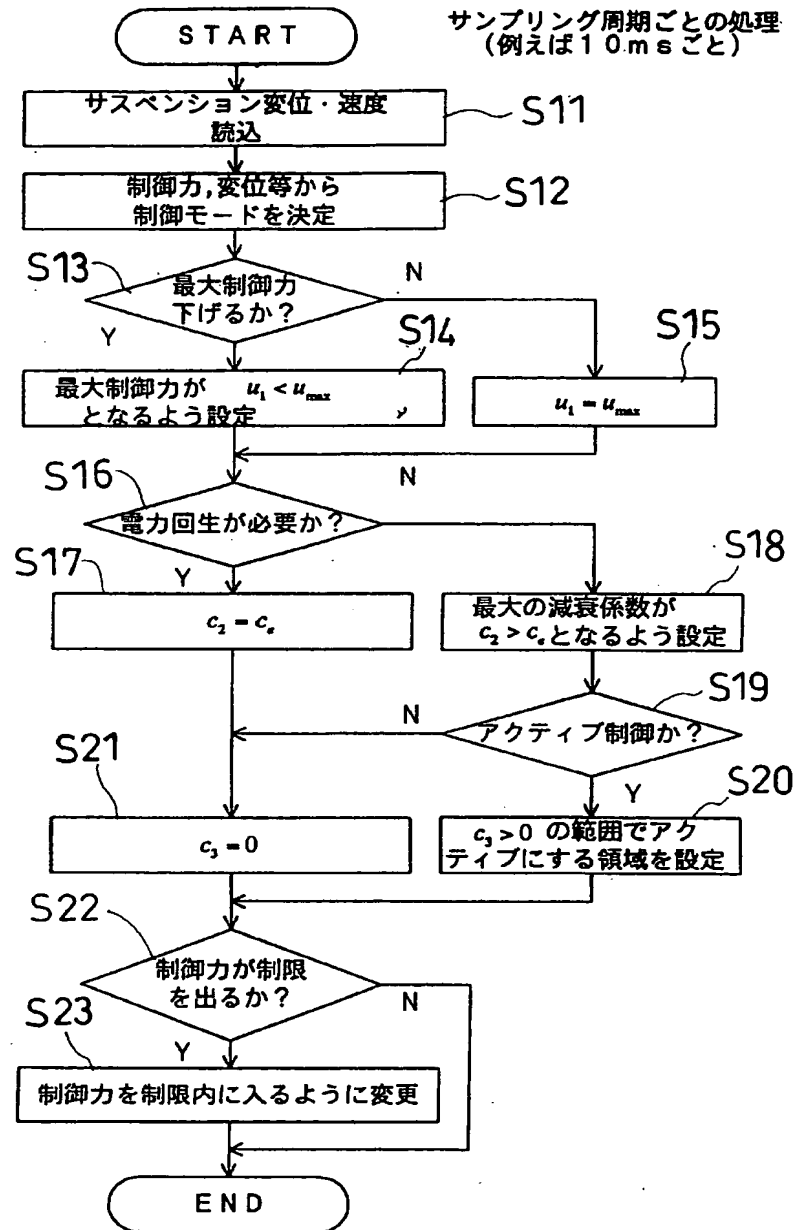
【図15】



【図17】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 筑間 寛
 神奈川県川崎市川崎区富士見1丁目6番3
 号 トキコ株式会社内

Fターム(参考) 3D001 AA02 AA18 BA01 DA17 EA07
 EA08 EA22 EA34 EA42 EB26
 ED02 ED21
 3D014 DD02 DE22
 3J048 AA02 AB08 AB11 AC08 BE09
 CB19 DA03 EA15